

УДК 621.311

ВИБІР ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

к.т.н. Г.І. Лагутін, А.Б. Кульчицький
(подав д.т.н., проф. Б.Т.Кононов)

У статті розглядається математична модель та метод розв'язання задачі вибору номенклатури та потужностей електростанцій для системи електропостачання об'єкту управління.

Задача вибору номенклатури та потужностей електростанцій для забезпечення електроенергією споживачів електроенергії військового призначення може бути зведена до задачі оптимізації генеруючих потужностей у системі електропостачання. У статті розглядається математична модель та метод рішення зазначеної задачі.

Задача оптимізації генеруючих потужностей являє собою частину більш загальної задачі оптимізації структури системи електропостачання. Під структурою системи електропостачання будемо розуміти її основний склад - електричні станції та мережі, що зв'язують станції між собою та з вузлами навантаження, а також міжсистемні зв'язки.

Задача оптимізації структури системи електропостачання є досить складною та, як правило, не може бути вирішена в рамках однієї моделі. Тому звичайно виділяються задача оптимізації генеруючих потужностей та задача оптимізації мереж, які розглядаються спільно.

Задача оптимізації генеруючих потужностей міститься у визначенні на заданому часовому інтервалі планування t складу електростанцій та їхніх установлених потужностей, розміщення та виду використовуваних енергоресурсів, типів та потужності агрегатів на окремих електростанціях для надійного забезпечення споживачів електроенергією потрібної якості в необхідній кількості.

Розв'язання такої важливої задачі не може бути виконане без великого об'єму технічної та соціально-економічної інформації. У залежності від достовірності вихідної інформації математичні моделі можна розділити на детерміновані, стохастичні та ігрові; у залежності від глибини та точності урахування всіляких впливових чинників - на статичні та динамічні, лінійні та нелінійні та ін.

Можна відзначити, що багато чого з того, що складає інформаційну основу задачі оптимізації генеруючих потужностей - це результат оптимізації системи електропостачання більш високого ієрархічного рівня.

© к.т.н. Г.І. Лагутін, А.Б. Кульчицький, 2001

Розглянемо чинники, які прийняті в увагу при побудові математичних моделей оптимізації генеруючих потужностей. Для кожного часового етапу $\tau \in t$ враховується таке:

- установлена потужність електростанцій, достатня для забезпечення навантаження у вузлах, власних потреб та втрат у мережах по потужності та якості електроенергії;
- резерв потужності для забезпечення попиту електроенергії (потужності та кількості енергії) у період максимуму, створений та щонайкраще розподілений по електростанціях системи;
- вимоги раціонального покриття пікової частини різко нерівномірного графіка навантаження;
- передбачувані до використання паливні ресурси як за кількістю, так і за паливною складовою експлуатаційних витрат;
- екологічні обмеження, які зв'язані з вводом у дію електростанцій системи електропостачання;
- капітальні вкладення у формі фінансових та матеріальних ресурсів, що не перевищують фіксованого розміру, який задається звичайно з більш високого ієрархічного рівня планування;
- можливості постачальних організацій щодо постачання засобів електропостачання;
- можливість забезпечення експлуатаційним, у тому числі інженерно-технічним персоналом та ін.

Не обов'язково всі ці чинники повинні одночасно бути присутніми у математичній моделі оптимізації генеруючих потужностей.

У якості спрощеної моделі, що припускає будівництво всіх електростанцій в один рік, необмежені можливості щодо енергоресурсів, можливі взаємозв'язки джерел електроенергії через електричні мережі, може бути розглянута така модель.

Електростанції, що працюють в ізолюваній системі, повинні забезпечити задані значення базисної потужності S_6 , пікової потужності S_{Π} та річного вироблення електроенергії $E_{\text{рік}}$. При цьому витрати на капітальне будівництво не повинні перевищити фіксованої суми C .

Нехай є можливість постачання будь - якого з J типів електростанцій. Прийmemo в якості керованих змінних x_j число станцій j - го типу ($j = 1, 2, \dots, J$). Введемо такі позначення:

S_{6j} - базисна потужність, яка забезпечується однією електростанцією j - го типу;

$S_{\Pi j}$ - пікова потужність, яка забезпечується однією електростанцією j - го типу;

$E_{\text{рік } j}$ - річне вироблення електроенергії однією електростанцією

j - го типу;

C_j - вартість однієї електростанції j - го типу;

C_{ej} - річні експлуатаційні витрати на одну електростанцію j - го типу.

Завдання полягає у виборі оптимального числа станцій розглянутих типів, що забезпечують енергетичні (S_6 , S_n , $E_{\text{рік}}$) та фінансові (C) вимоги та які зводять до мінімуму річні експлуатаційні витрати по всіх станціях створюваної системи. Ця операція може бути подана у вигляді математичної моделі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_j C_{ej} \cdot x_j \rightarrow \min; \\ \sum_j C_{6j} \cdot x_j \geq C_6; \\ \sum_j C_{nj} \cdot x_j \geq C_n; \\ \sum_j C_{\text{рік } j} \cdot x_j \geq E_{\text{рік}}; \\ \sum_j C_j \cdot x_j \leq C; \\ x_j \geq 0 \text{ та цілі.} \end{array} \right. \quad (1)$$

Незважаючи на серйозні спрощення, дана модель може виявитися дійсно корисною, тому що вона охоплює досліджуваний процес у цілому, без зайвої деталізації та навіть спрощена картина проведення операції може показати, які додаткові чинники варто врахувати при розвитку моделі. Для розв'язання даної задачі можуть бути використані методи лінійного програмування, квадратичного програмування, нелінійного програмування, динамічного програмування та ін.

Розглянемо метод динамічного програмування та його застосування для розв'язання задачі оптимізації генеруючих потужностей.

Зауважимо, що використання методу динамічного програмування для розв'язання зазначеної задачі доцільно виходячи з того, що він дозволяє одержувати цілочисельні розв'язання більш простими способами. З іншого боку, для розв'язання розглянутої задачі можуть бути використані цілочисельні методи нелінійного програмування в матричній та мережній формах.

Відомо, що динамічне програмування - це поетапне планування багатокрокового процесу, коли на кожному етапі оптимізується тільки один крок, але розв'язання, під впливом якого система переходить із поточного стану в новий стан, повинно вибиратися з урахуванням його наслідків у

майбутньому та цілком не обов'язково повинно давати найбільший ефект на даному етапі.

Розглянемо рекурентний алгоритм динамічного програмування стосовно до розв'язання задачі оптимізації генеруючих потужностей.

Припустимо, що система електропостачання загальною встановленою потужністю S може бути утворена електростанціями п'ятьох типів. Позначимо їхні встановлені потужності відповідно S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 . Нехай витрати на спорудження станцій *лінійні* відносно їхніх потужностей та коефіцієнти пропорційностей позначені a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 . Спробуємо знайти склад станцій у системі та їхні встановлені потужності, що мінімізують витрати на систему електропостачання.

Принципово ця задача може бути вирішена на основі такої *лінійної* математичної моделі:

$$\begin{cases} a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + a_4 S_4 + a_5 S_5 \rightarrow \min; \\ S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \geq S; \\ S_i \geq 0; \quad i = 1, 2, 3, 4, 5. \end{cases} \quad (2)$$

Розглянемо спосіб, заснований на розбивці цієї задачі на ряд підзадач, кожна з яких залежить від однієї змінної.

Нехай **етапом** у розв'язанні задачі буде поява в складі системи чергового типу електростанції так, що на першому етапі система складається зі станцій першого типу, на другому етапі - із станцій першого та другого типу та т.д.

Під **станом** системи будемо розуміти сумарну встановлену потужність системи, що може змінюватися від 0 до S .

На першому етапі система складається зі станцій першого типу. Тоді умовно-оптимальні витрати складають

$$f_1 = \min_{S_1 \geq S} a_1 S_1. \quad (3)$$

На другому етапі (формування системи станціями першого та другого типів) умовно-оптимальні витрати на станції другого типу (потужність S_2) та першого типу (потужність $S - S_2$) складають

$$f_2 = \min_{0 \leq S_2 \leq S} [a_2 S_2 + f_1(S - S_2)]. \quad (4)$$

Аналогічно на третьому етапі, де система складається зі станцій першого, другого та третього типу, отримаємо

$$f_3 = \min_{0 \leq S_3 \leq S} [a_3 S_3 + f_2(S - S_3)]. \quad (5)$$

На четвертому та п'ятому етапах затрати складають:

$$f_4 = \min_{0 \leq S_4 \leq S} [a_4 S_4 + f_3(S - S_4)]; \quad (6)$$

$$f_5 = \min_{0 \leq S_5 \leq S} [a_5 S_5 + f_4(S - S_5)]. \quad (7)$$

Із зазначених співвідношень видно, що побудова їх ідентична. Тоді можна записати вирази для першого та наступних етапів розглянутої задачі в узагальненому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \min_{S_1} a_1 S_1; \\ \dots\dots\dots \\ f_n = \min_{S_n} [a_n S_n + f_{(n-1)}(S - S_n)]. \end{array} \right. \quad (8)$$

Дані вирази являють собою рекурентні співвідношення динамічного програмування для досліджуваної операції. У інших випадках вирази для цільової функції та залежності функцій вартості електричних станцій можуть мати інший вигляд, що приводить до задач нелінійного динамічного програмування. Алгоритмів для розв'язання задач нелінійного динамічного програмування в загальному вигляді не існує. У кожному випадку алгоритм динамічного програмування повинний модифікуватися під конкретний тип задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Деодорица Ю.С., Нефедов Ю.М. Исследование операций в планировании и управлении: Учеб. пособие. – К. : Вища школа, 1991. – 271 с.
2. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. – К.: Вища школа, 1983. – 239 с.

Надійшла до редколегії 31.08.2001